



## L'enseignement de spécialité physique-chimie : situations d'apprentissage illustrant des modalités de travail pouvant être mises en œuvre après mars

Travailler et évaluer l'oral en classe entière en physique-chimie

L'objectif général de cette activité est de réaliser un travail sur les apprentissages de fin d'année et de développer et d'évaluer les compétences orales des élèves, dans l'optique du Grand oral.

Cette activité permet ainsi aux élèves de progresser à la fois sur des savoirs et sur des compétences orales, avec un feedback immédiat prenant appui sur un outil numérique.

- Les élèves travaillent, en amont, une activité fournie par le professeur sur un sujet qui n'a pas encore été traité en classe, en l'occurrence, la radioactivité.
- En groupe, les élèves corrigent l'activité puis organisent une présentation orale pour expliquer la notion qu'ils ont étudiée et proposer un exercice d'application au reste de la classe.
- Lors du passage à l'oral, les élèves sont évalués en direct par leurs camarades et le professeur.

Cette activité s'insère dans le **programme** de spécialité physique-chimie de terminale de la voie générale :

### Référence au programme de terminale spécialité physique chimie :

**Thème 1** : Constitution et transformations de la matière

3. Modéliser l'évolution temporelle d'un système, siège d'une transformation

B) Modéliser l'évolution temporelle d'un système, siège d'une transformation nucléaire

Les notions abordées dans cette activité ne sont pas évaluées lors des écrits de spécialité et peuvent donc être abordées en fin d'année scolaire, de façon spiralaire par rapport aux autres contenus disciplinaires du thème.

## Contexte

- Séance de cours en classe entière
- Durée : 2 heures
- Vidéo présentant l'activité réalisée dans une classe de terminale spécialité physique chimie de l'académie d'Orléans-Tours :  
<https://www.youtube.com/watch?v=mvMsYM9dZ8>

## 4 activités dans le thème : modéliser l'évolution temporelle d'un système, siège d'une transformation nucléaire<sup>1</sup>

- **Activité 1** - Plus de 1 500 isotopes différents !
- **Activité 2** - Évolution temporelle d'une population de noyaux radioactifs
- **Activité 3** - Datation au carbone 14
- **Activité 4** - Applications de la radioactivité en médecine

## Organisation pédagogique

- **Séance N-2** : la fiche d'activité est distribuée aux élèves (attribution d'une activité parmi quatre selon les besoins de l'élève)
- **Séance N-1** : travail de groupe (3 ou 4) avec mise en commun des réponses à l'activité et préparation de la présentation orale en suivant un cahier des charges (ordinateurs mis à disposition des élèves).
- **Séance N** : présentation orale de chaque groupe.

## Outils et applications utilisés par les élèves et le professeur

L'application (Wooclap) utilisée par les élèves pour évaluer la prestation orale du groupe transforme la tâche d'évaluation, qui peut être réalisée par tous les élèves et de manière simultanée (« en direct »).

## Compétences numériques mises en œuvre par les élèves

Compétences du CRCN<sup>2</sup>

- Domaine 1 - Informations et données / 1,1 - Mener une recherche
- Domaine 2 - Collaboration et communication (évaluation collaborative)
- Domaine 3 - Création de contenus

<sup>1</sup> Voir les fiches d'activités des élèves en annexe

<sup>2</sup> Le cadre de référence des compétences numériques (CRCN) définit les compétences numériques et leurs niveaux de maîtrise progressive au long de la scolarité <https://eduscol.education.fr/721/evaluer-et-certifier-les-competes-numeriques>

## Objectifs pédagogiques de la vidéo

L'objectif général de la vidéo est de présenter un travail et une évaluation des compétences orales en classe entière, permettant aux élèves de progresser à la fois sur des savoirs et sur des compétences orales :

- pour le groupe d'élèves qui effectue la passation orale : entraînement à la prise de parole devant un groupe (classe) et aux interactions (l'originalité reposant sur la proposition d'un exercice à la classe), évaluation par les pairs et par l'enseignante à l'issue de la prestation orale ;
- pour les autres groupes d'élèves : s'approprier des critères de réussite d'une prestation orale.

## Utilisations possibles de la vidéo

Formation initiale ou continue, autoformation, information, promotion du travail de l'oral et du numérique.

## Focales d'observation de la vidéo

Présentation orale et interactions avec la classe :

- 1:31 : évocation par l'enseignante du cahier des charges
- 2:08 : évocation de l'étape qui suit la présentation par un groupe (proposition d'un exercice à la classe)
- 2:22 : explication par un élève du travail à réaliser à l'oral et intérêt pour l'élève
- 2:52 : posture du professeur pendant la séance

Évaluation de la prestation orale à l'aide d'un outil numérique

- 3:18 : présentation par l'enseignante du déroulé de l'évaluation
- 3:49 : retour d'une élève sur l'évaluation
- 3:56 : évocation par l'enseignante de l'intérêt de l'évaluation par les pairs

## Points de vigilance

Cette vidéo n'a pas pour objectif d'être modélisante, tant par son contenu que par la forme de la séance.

### Mots-clés

Collaboration - Grand oral - Évaluation - Chimie - Compétences - Numérique

## Annexes – Fiches d'activités des élèves

### Activité n° 1 - Plus de 1 500 isotopes différents !

#### Objectifs

- Déterminer, à partir du diagramme (N, Z) les isotopes radioactifs d'un élément.
- Utiliser des données et les lois de conservation pour écrire l'équation d'une réaction nucléaire.
- Identifier le type de radioactivité.

#### Contexte

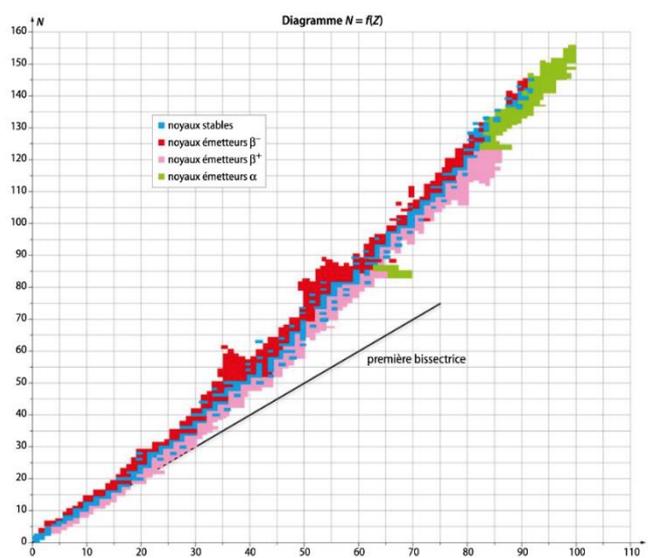
Alors que seulement 118 éléments chimiques, classés dans le tableau périodique, ont été identifiés sur Terre ou en laboratoire, plus de 1 500 noyaux connus sont classés dans un diagramme (N, Z).

Comment connaître les informations sur la stabilité d'un noyau grâce au diagramme (N, Z) ?

#### Documents

##### Document n° 1 - Diagramme (N, Z) ou diagramme de Segré

Pour un élément chimique donné, certains isotopes sont stables tandis que d'autres ne le sont pas et sont donc radioactifs. Le diagramme (N, Z) indique les isotopes stables ou radioactifs. Il donne aussi le type d'émission radioactive des isotopes instables. Dans ce diagramme, on porte en abscisse le nombre Z de protons et, en ordonnée, le nombre N de neutrons du noyau. Chaque isotope y est représenté par une case. On retrouve sur une même ligne les isotopes d'un même élément. Le type de radioactivité est représenté par un code couleur.



Animation (pour faire un zoom sur le diagramme et répondre aux questions) :

<https://segree.web-labosims.org/index.html> (attention, diagramme  $Z = f(N)$  sur ce site)

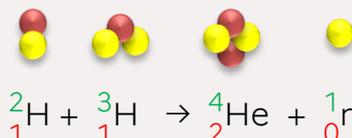
*D'après Physique-chimie T<sup>e</sup> Spécialité, Bordas, 2020, Transformations nucléaires p. 114 et Physique-chimie T<sup>e</sup> Spécialité, Hachette Éducation, 2020, Évolution d'un système siège d'une transformation nucléaire p. 113*

### Document n° 2 - Équation d'une transformation nucléaire

Dans une transformation nucléaire, les noyaux des atomes sont modifiés. On modélise la transformation par une équation de réaction nucléaire qui obéit à des lois de conservation :

- conservation du nombre de charges électriques ;
- conservation du nombre de nucléons.

Une réaction de fusion dans les étoiles respecte les lois de conservation, l'équation s'écrit :



Le nombre de charges électriques des atomes de réaction est conservé puisque  $1 + 1 = 2 + 0$

Le nombre de nucléons des atomes de réaction est conservé puisque  $2 + 3 = 4 + 1$

*D'après Physique-Chimie T<sup>re</sup> Spécialité, Bordas, 2020, Transformations nucléaires p. 115*

### Document n° 3 - Les différents types de radioactivité

Les noyaux père instables peuvent se transformer spontanément en noyaux fils, cette transformation s'accompagne d'une émission de particules chargées.

- Lors de la radioactivité  $\alpha$ , il y a émission d'un noyau d'hélium  ${}^4_2\text{He}$  (ou particule  $\alpha$ ), tandis que lors d'une désintégration  $\beta$ , le noyau père libère un électron  ${}^0_{-1}\text{e}$  (radioactivité  $\beta^-$ ) ou un positron  ${}^0_{+1}\text{e}$  (radioactivité  $\beta^+$ ).
- La plupart du temps, les noyaux issus d'une désintégration  $\beta$  sont dans un état excité, possédant un excédent d'énergie. C'est plus rare lors des désintégrations  $\alpha$ . On distingue le noyau fils excité à l'aide d'un astérisque ajouté à côté de son symbole :

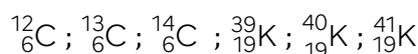


Les noyaux fils obtenus se désexcitent en émettant un photon, noté  $\gamma$ , c'est-à-dire une onde électromagnétique de très courte longueur d'onde.

*D'après Physique-Chimie T<sup>re</sup> Spécialité, Bordas, 2020, Transformations nucléaires p. 115*

## Questions

1. À l'aide de l'animation proposée dans le document 1, repérer les noyaux suivants sur le diagramme :



Indiquer pour chacun s'il est stable ou instable.

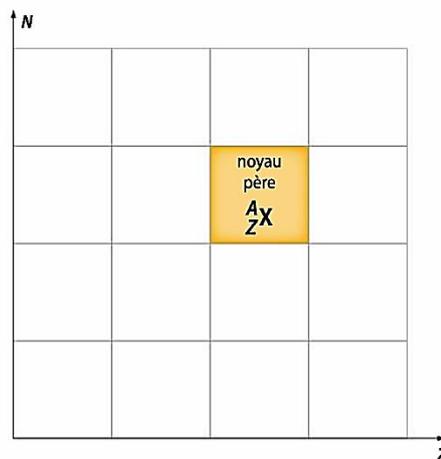
2. Pour l'ensemble des noyaux du doc. 1, préciser si les noyaux les plus abondants du diagramme sont des noyaux stables ou instables.
3. Comparer le nombre de protons et le nombre de neutrons des noyaux stables :
  - a) jusqu'à  $Z = 20$  ;
  - b) au-delà de  $Z = 20$ .
4. Que peut-on dire :
  - a) des noyaux qui donnent lieu à des désintégrations  $\beta^+$  et  $\beta^-$  ?
  - b) du quotient  $\frac{N}{Z}$  pour chacun de ces types de désintégration.

- Caractériser les noyaux pour lesquels on peut observer des émissions  $\alpha$ .
- Repérer, sur le diagramme (N, Z) une zone appelée la « vallée de stabilité » et une autre appelée la « mer d'instabilité ».
- Le phosphore 30 peut subir une transformation nucléaire, modélisée par la réaction d'équation :



Identifier le type de radioactivité associé à cette désintégration et montrer que cette transformation nucléaire respecte les lois de conservation.

- Écrire les équations de désintégration des isotopes instables du carbone suivants :  ${}_{6}^{10}\text{C}$  ;  ${}_{6}^{15}\text{C}$ .
- L'uranium 238 peut se désintégrer en thorium 234 suivant un processus de radioactivité  $\alpha$ . Écrire l'équation de la réaction nucléaire qui modélise cette transformation.
- Reproduire le schéma suivant et le compléter avec les symboles des noyaux fils obtenus à partir du noyau père  ${}_{Z}^AX$  par désintégration  $\alpha$ ,  $\beta^+$  ou  $\beta^-$ . Relier les noyaux père et fils à l'aide de flèches.



Source : Physique-Chimie 1<sup>re</sup> Spécialité Bordas, 2020, Transformations nucléaires p. 115

#### Votre synthèse à l'oral devra présenter :

- le diagramme (N, Z) et les informations qu'il permet d'obtenir ;
- les différents types de radioactivité et les lois de conservation ;
- pour vos camarades : un exercice d'application dans lequel ils devront identifier le type de radioactivité à partir d'une équation de désintégration et inversement, écrire une équation de désintégration connaissant le type de radioactivité.

#### Organisation de la présentation

- Durée totale : 10-15 min.
  - Chaque membre du groupe devra présenter une partie de cette synthèse.
- Vous pourrez créer et vous appuyer sur un support numérique si vous le souhaitez.

## Activité n° 2 - Évolution temporelle d'une population de noyaux radioactifs

### Objectifs

- Établir l'expression de l'évolution temporelle de la population de noyaux radioactifs.
- Exploiter la loi et la courbe de décroissance radioactive.

### Contexte

Plus de 30 ans après l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl, les scientifiques ont montré, lors de mesures effectuées sur les sols, la présence d'isotopes radioactifs rejetés à l'époque dans l'atmosphère alors que d'autres ont totalement disparu.

Comment le nombre de noyaux radioactifs évolue-t-il au cours du temps ?

### Partie 1 - Simulation de la radioactivité

Les désintégrations radioactives sont un phénomène aléatoire et imprévisible à l'échelle du noyau. Cependant, la prédiction du comportement d'un grand nombre de noyaux radioactifs est possible.

L'objectif de cette partie est de simuler, à l'aide de lancers de dés, l'évolution temporelle d'une population de noyaux radioactifs, et étudier cette évolution.

### Documents

#### Document n° 1

Pour cette simulation, on utilisera le site suivant : <https://www.dejete.com/?tpde=6&nbde=20> (type de dés : 6 faces – nombre de dés : 20)

On dispose de 20 dés à six faces, dont une face sera désignée par « face spéciale » par convention : par exemple la face 6 est la face spéciale.

- Lancer tous les dés, puis mettre de côté ceux qui sont tombés sur la face spéciale. Noter le nombre de dés restants après un lancer.
- Relancer les dés restants, puis éliminer ceux qui sont tombés sur la face spéciale. Noter le nombre de dés restants.
- Procéder de même jusqu'à 15 lancers. Noter les résultats dans un tableau sous le format ci-contre, dans lequel on a noté le numéro du lancer.
- Reproduire le même processus cinq fois, puis additionner les valeurs obtenues.
- Enfin, additionner l'ensemble des résultats du groupe. On pourra utiliser un tableur pour cela.

| t            | 1   | 2 | 3 | 4 | ... | 15 |
|--------------|-----|---|---|---|-----|----|
| Série 1      | 20  |   |   |   |     |    |
| Série 2      | 20  |   |   |   |     |    |
| Série 3      | 20  |   |   |   |     |    |
| Série 4      | 20  |   |   |   |     |    |
| Série 5      | 20  |   |   |   |     |    |
| Total binôme | 100 |   |   |   |     |    |
| Total Classe |     |   |   |   |     |    |

*D'après Physique-Chimie T<sup>re</sup> Spécialité, Hatier, 2020, Radioactivité p. 150*

### Document n° 2 - Caractère aléatoire des lancers de dés

Dans chaque série, au bout du cinquième lancer, il peut rester entre 20 et 0 dés. Pour chaque nombre possible de dés restants entre 0 et 20 au cinquième lancer, récolter, pour l'ensemble de la classe, les effectifs des séries présentant ce nombre.

Présenter les données dans un tableau sur le modèle ci-dessous.

| Nombre de dés restants au cinquième lancer | 0 | ... | 20 |
|--|---|-----|----|
| Effectif                                   |   |     |    |

*D'après Physique-Chimie T<sup>3</sup>e Spécialité, Hatier, 2020, Radioactivité p 150*

### Questions

- Réaliser le protocole du document 1. Pour l'ensemble du groupe, on notera  $N_0$  le nombre de dés initial ( $t=0$ ) et  $N$  le nombre de dés restant au lancer  $t$ .
  - Placer sur un graphique les points représentant  $N$  en fonction de  $t$ .
  - Quelle probabilité a le dé de tomber sur la face spéciale ? Le nombre de dés éliminés au 1<sup>er</sup> lancer est-il toujours le même ? Si non, pourquoi ?
  - Sur le graphique tracé à la question a., ajouter les points de coordonnées  $(t, N_0 \cdot e^{-t/6})$ . Commenter.
- Collecter les données selon le protocole du document 2.
  - Tracer l'histogramme représentant les effectifs des séries ayant un nombre de dés donné au bout du 5<sup>e</sup> lancer.
  - Calculer la moyenne du nombre de dés restants, puis l'écart-type. Matérialiser ces valeurs sur l'histogramme.
- La radioactivité est un phénomène aléatoire, inéluctable et spontané. Expliquer le sens de ces mots et dire s'ils s'appliquent à la sortie de la face spéciale lors d'un lancer de dés.
- Expliquer en quoi les expériences menées ici montrent qu'un phénomène aléatoire peut cependant être décrit avec des lois prédictives si l'effectif considéré est assez grand.

### Partie 2 - Loi de décroissance radioactive

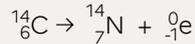
La désintégration d'un noyau radioactif est inéluctable, imprévisible et aléatoire. On dit parfois qu'un noyau « meurt sans vieillir ».

Cette expression repose-t-elle sur une analyse scientifique ou n'est-elle que pure invention ?

## Documents

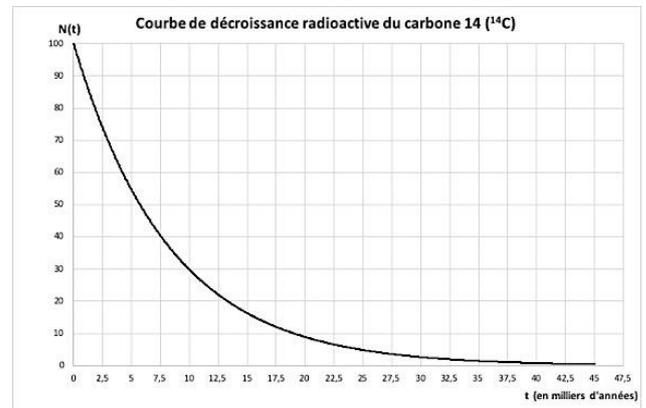
### Document n° 1 - Décroissance radioactive du carbone 14

Un noyau de carbone 14 est radioactif. Il se transforme par désintégration en noyau d'azote 14 suivant la réaction d'équation :



La diminution du nombre de noyaux radioactifs de carbone 14 en fonction du temps est appelée décroissance radioactive. Elle est représentée graphiquement ci-contre.

D'après *Physique-chimie Enseignement de Spécialité, Terminale Nathan, 2020, Transformations nucléaires p. 115*



### Document n° 2 - Données scientifiques

- L'activité d'un échantillon radioactif est le nombre de désintégrations radioactives par seconde ayant lieu dans l'échantillon. Elle se note  $A$  et s'exprime en becquerels (Bq) :  $1 \text{ Bq} = 1 \text{ désintégration} \cdot \text{s}^{-1}$ . Elle peut se mesurer avec un compteur Geiger-Müller.
- L'activité  $A(t)$  d'un échantillon de noyaux radioactifs est proportionnelle au nombre de noyaux  $N(t)$  qu'il contient :

$$A(t) = \lambda \cdot N(t)$$

- La constante de proportionnalité  $\lambda$  est appelée constante radioactive et ne dépend que du type de noyaux  $X$  de l'échantillon. Elle s'exprime en  $\text{s}^{-1}$ .

$R_q$  : Elle s'interprète comme la probabilité de désintégration par unité de temps.

D'après *Physique-Chimie Enseignement de Spécialité, Terminale Nathan, 2020, Transformations nucléaires p. 115* et *Physique-chimie T<sup>le</sup> Spécialité, Hachette Éducation, 2020, Évolution d'un système siège d'une transformation nucléaire p. 114*

### Document n° 3 - Infos maths

- Définition de la dérivée d'une fonction  $f$  :  $f'(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x+\Delta x) - f(x)}{\Delta x} = \frac{df}{dx}$  (cette dernière notation est utilisée en physique).
- Une équation différentielle est une équation qui lie une fonction et ses dérivées.
- L'équation différentielle  $y' + ay = 0$  est dite linéaire du premier ordre à coefficient  $a$  constant sans second membre pour la fonction  $y$ .
- La solution de cette équation différentielle est la fonction définie par  $f(x) = f_0 \cdot e^{-ax}$  où  $f_0 = f(0)$  (cette valeur est souvent désignée par l'expression « condition initiale »).

D'après *Physique-Chimie Enseignement de Spécialité, Terminale Nathan, 2020, Transformations nucléaires p. 115*

## Questions

1. On note  $N(t)$  le nombre de noyaux d'un échantillon à l'instant  $t$  et  $N(t + \Delta t)$  le nombre de noyaux restants dans l'échantillon au bout d'une durée  $t + \Delta t$ . Exprimer, en fonction de ces deux valeurs, le nombre de noyaux qui se sont désintégrés pendant la durée  $\Delta t$ .

2. À l'aide de la définition de l'activité (document 2), donner l'expression de l'activité  $A(t)$  de l'échantillon.
3. Montrer que cette expression s'écrit  $A(t) = -\frac{dN}{dt}$  lorsque  $\Delta t$  tend vers 0.
4. En déduire une relation entre  $N(t)$  et sa dérivée.
5. Montrer que la fonction  $N$  vérifie l'équation différentielle linéaire du 1<sup>er</sup> ordre à coefficients constants dont le coefficient  $a$  est égal à  $\lambda$  (voir document 3).
6. En déduire l'expression de l'évolution temporelle de la population de noyaux radioactifs :
$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$
avec  $N_0 = N(0)$ . Cette expression est appelée loi de décroissance radioactive.
7. Par analogie avec ce qui a été vu en cinétique chimique, définir la demi-vie radioactive  $t_{1/2}$  et établir son expression en fonction de  $\lambda$ .
8. Rechercher les valeurs des demi-vies de quelques noyaux radioactifs connus (Carbone 14, Radium 226 ; Technétium 99 ; Iode 131 ; Uranium 238 et Plutonium 239) ainsi que leurs utilisations.

**Votre synthèse à l'oral devra présenter :**

- le bilan de la partie 1 de cette activité (en faire un résumé – définir les termes aléatoire, inéluctable et spontané – expliquer le fait qu'un phénomène aléatoire puisse être décrit par une loi) ;
- une méthode pour établir la loi de décroissance radioactive ;
- la définition de la demi-vie d'un noyau radioactif et quelques exemples de valeurs ;
- un exercice bilan que vous proposerez à vos camarades.

**Organisation de la présentation**

- Durée totale : 10-15 min.
- Chaque membre du groupe devra présenter une partie de cette synthèse.

Vous pourrez créer et vous appuyer sur un support numérique si vous le souhaitez.

## Activité n° 3 - Datation au carbone 14

### Objectifs

- Expliquer le principe de la datation à l'aide de noyaux radioactifs.
- Dater un événement ou un objet.

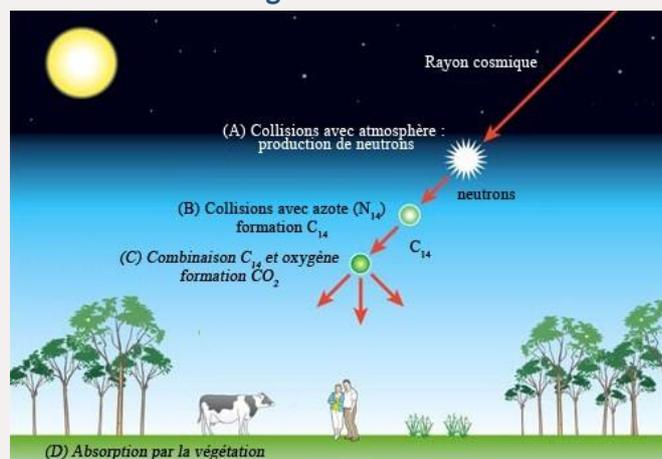
### Contexte

Il existe de nombreuses techniques de datation utilisant la radioactivité. La datation au carbone 14 est adaptée à la datation des matières organiques.

Comment procéder pour dater un échantillon ?

### Documents

#### Document n° 1 - Origine du carbone 14

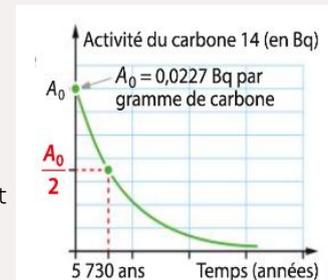


L'isotope du carbone le plus répandu sur Terre est  $^{12}_6C$  mais on trouve aussi  $^{14}_6C$  en très faible quantité, qui est produit en permanence dans la haute atmosphère.

Source : [www.laradioactivite.com](http://www.laradioactivite.com)

#### Document n° 2 - Principe de la datation au carbone 14

Les échanges gazeux entre un organisme vivant (animal ou végétal) et l'atmosphère maintiennent un rapport carbone 14 / carbone 12 constant dans cet organisme. Après sa mort, le carbone 14 n'est plus renouvelé par ces échanges. Il se désintègre petit à petit et son activité, notée  $A(t)$ , diminue. L'activité  $A$  décroît de façon exponentielle  $A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$  où  $A_0$  est l'activité échantillon de référence à l'instant  $t=0$ .  $\lambda$  est la constante radioactive. La connaissance de l'activité  $A(t)$  permet de trouver le temps  $t$  (âge carbone 14) qui s'est écoulé depuis la mort de l'organisme.



D'après Physique-Chimie T<sup>re</sup> Enseignement de Spécialité, Belin Éducation, 2020, Évolution temporelle d'une transformation nucléaire p. 138

**Document n° 3 - Données scientifiques**

L'activité d'un échantillon radioactif est le nombre de désintégrations radioactives par seconde ayant lieu dans l'échantillon. Elle se note  $A$  et s'exprime en becquerels (Bq) :  $1 \text{ Bq} = 1 \text{ désintégration} \cdot \text{s}^{-1}$ . Elle peut se mesurer avec un compteur Geiger-Müller.

**Document n° 4 - La datation au carbone 14 : une mesure « relative »**

« La quantité de carbone 14 formé dans la haute atmosphère, bien qu'assez constante, peut connaître des variations. La quantité assimilée par les organismes varie donc en fonction du contexte dans lequel vivait l'organisme (quantité formée en haute atmosphère, conditions environnementales, métabolisme, etc.).

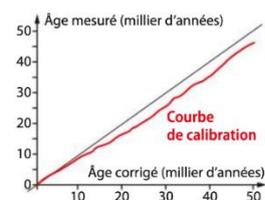
Comme ces mécanismes sont variables, les « âges carbone 14 » sont relatifs : ils dépendent pour une part de l'âge de l'objet d'étude, mais également des conditions environnementales qui existaient alors. Pour pallier cela, les chercheurs ont établi une échelle de calibration des « âges carbone 14 » avec différentes mesures d'objets dont on connaît la date (datation absolue), pour les comparer avec les « âges carbone 14 » qu'ils obtiennent (datation relative). »

Source: [www.cea.fr](http://www.cea.fr)

**Document n° 5 - Courbe de calibration du carbone 14**

La courbe de calibration permet de transformer une mesure physique (« âge mesuré ») en âge corrigé.

Cette calibration tient compte des variations au cours du temps de la teneur en carbone 14 dans l'atmosphère.

**Questions**

- $^{14}_6\text{C}$  est émetteur  $\beta^-$ . Écrire l'équation de désintégration de  $^{14}_6\text{C}$ .
- À l'aide de la formule donnée dans le document 2, montrer que l'activité initiale  $A_0$  a été divisée par 2 au bout d'un temps  $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ , appelée temps de demi-vie (ou demi-vie tout simplement).
- Calculer  $\lambda$  sachant que  $t_{1/2} = 5\,370$  ans pour  $^{14}_6\text{C}$ .
- Toujours à l'aide de la relation donnée dans le document 2, exprimer  $t$  en fonction de  $A(t)$ ,  $A_0$  et  $\lambda$ .

**Application - Voyage dans le temps au lycée Vaucanson****Contexte**

Juillet 2017, chantier d'agrandissement du lycée Vaucanson (situation fictive)

Afin d'accueillir au mieux le nombre croissant d'élèves au lycée Jacques de Vaucanson, une nouvelle aile de bâtiment va voir le jour. Les travaux ont commencé, mais sont vite arrêtés par la découverte de vestiges archéologiques.

L'INRAP (Institut national de recherches archéologiques préventives) est contacté et fournit un rapport d'opérations portant sur le site du « Vieux Colombier » adjacent au lycée.

Voici quelques extraits de la conclusion de ce rapport :  
« Le diagnostic a donc permis de démontrer la présence d'une densité importante de

vestiges dans l'angle sud-est du projet. Ils correspondent aux fondations de plusieurs bâtiments appartenant à un domaine dont la vocation a été modifiée au cours du temps. [...] Au Moyen-Âge, « Le Colombier » est tout d'abord un domaine agricole appartenant à l'abbaye de Marmoutier. [...] Il est désigné, dès 852, par « Colombarium », dans les titres de propriété de l'abbaye. En 1619 et sur la carte de Cassini, il apparaît comme un ensemble bâti. [...] Vers la fin du 17<sup>e</sup> siècle, il appartient aux Preuilly, une famille bourgeoise tourangelle. [...] À partir du 18<sup>e</sup> siècle, le domaine est plusieurs fois mentionné sous le terme de « closerie » qui, entre Tours et Amboise à cette époque, désigne des exploitations viticoles [...] Il sera aux mains de plusieurs propriétaires au cours du 19<sup>e</sup> siècle. [...] En 1933, l'armée de l'air devient propriétaire. [...] Au milieu des années 1970, la majorité des bâtiments sont rasés : seules une grange et une tourelle sont préservées. »<sup>3</sup>



*Photo du site du Vieux Colombier prise le 19 mars 2017*

*Au 1<sup>er</sup> plan : la grange et la tourelle préservées (aménagement en cours)*

*Au 2<sup>d</sup> plan : le lycée régional Jacques de Vaucanson*

Les fouilles mettent au jour les vestiges de ce qui semble avoir été un feu de bois.

**Hypothèse 1 :** ce feu de bois provient de l'activité agricole de fermiers pour le compte de l'abbaye de Marmoutier.

**Hypothèse 2 :** ce feu de bois provient de l'activité viticole sur les terres d'un propriétaire privé.

**Hypothèse 3 :** ce feu de bois provient de l'activité militaire de l'armée de l'air.

Un échantillon de 5 000 g de charbon de bois provenant du foyer découvert est envoyé au laboratoire pour effectuer une datation au carbone 14. Les mesures révèlent une activité de 1,011 Bq.

Votre mission est de statuer sur l'une des trois hypothèses précédemment évoquées concernant ce feu de bois.

<sup>3</sup> Tours (Indre-et-Loire), Rue du Colombier, Rue Védrières : rapport de diagnostic par Samuel Riou, Christine Brault, Isabelle Girard et al. – Tours : CG 37, 2009 – 1 vol. (46 p. - 28 p. de pl.)

## Documents

### Document n° 6 - Datation au carbone 14 d'un morceau de bois

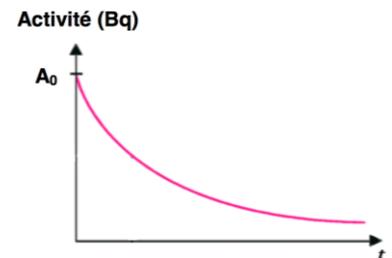
Tout comme le dioxyde de carbone  $^{12}\text{CO}_2$ , l'absorption du dioxyde de carbone  $^{14}\text{CO}_2$  va se faire naturellement par les arbres via la photosynthèse. Les atomes de carbone 14 étant radioactifs, ils vont se désintégrer en atome d'azote  $^{14}_7\text{N}$  et ainsi disparaître. Tant que le végétal est en vie, un équilibre va s'instaurer entre la désintégration des noyaux de carbone 14 et leur assimilation naturelle par l'absorption du  $^{14}\text{CO}_2$ .

Mais lorsqu'un arbre meurt, les échanges gazeux cessent et les atomes de carbone 14 ne sont plus renouvelés.

L'activité due aux désintégrations des noyaux de carbone 14 d'un morceau de bois va donc décroître lentement (voir courbe ci-contre).

Ainsi, si on mesure aujourd'hui l'activité  $A(t)$  d'un morceau de bois retrouvé sur un site archéologique, on peut, en la comparant à l'activité du carbone 14 moderne  $A_0$ , en déduire le temps  $t$  qui s'est écoulé depuis sa mort. C'est ce que l'on appelle l'âge.

*Donnée : l'activité  $A_0$  du carbone 14 moderne a été déterminée comme étant égale à 13,56 désintégrations par minute et par gramme de carbone.*



## Question

Le bois étant un mélange de macromolécules organiques obtenues grâce à la photosynthèse, justifier la possibilité de dater au carbone 14 un morceau de charbon de bois provenant d'un feu, en vous appuyant sur les informations données.

## Résolution du problème - À quelle activité sont liés les vestiges du feu de bois ?

L'analyse des données, la démarche suivie, les calculs, leur résultat, la critique de ces résultats doivent figurer dans votre compte rendu.

### Pour aller plus loin

À la lumière du document 5, assurez-vous de la validité de votre résultat précédent et au besoin modifiez-le.

#### Votre synthèse à l'oral devra présenter :

- le principe de la datation à l'aide de noyaux radioactifs ;
- un exercice bilan que vous proposerez à vos camarades.

#### Organisation de la présentation

- Durée totale : 10-15 min.
- Chaque membre du groupe devra présenter une partie de cette synthèse.

Vous pourrez créer et vous appuyer sur un support numérique si vous le souhaitez.

## Activité n° 4 - Applications de la radioactivité en médecine

### Objectifs

- Citer quelques applications de la radioactivité dans le domaine médical.
- Citer des méthodes de protection contre les rayonnements ionisants et des facteurs d'influence de ces protections.

### Contexte

Une gamma-caméra détecte le rayonnement  $\gamma$  issu de sources radioactives injectées à un patient, afin de fournir une image d'un organe. Cependant, ce type de rayonnement fait partie des rayonnements ionisants qui altèrent les cellules vivantes.

Comment un médecin travaillant à proximité de sources radioactives se protège-t-il ?

Comment les éléments radioactifs sont-ils utilisés pour aider les médecins à établir un diagnostic ?

### Documents

#### Document n° 1 - Imagerie médicale

Deux grandes familles d'imagerie médicale sont nées au début du XX<sup>e</sup> siècle : la radiologie et la médecine nucléaire.

| Radiographie « classique »                    | Médecine nucléaire  |
|---|---|
| Source de rayons X externe au patient         | Traceur biologique faiblement radioactif et participant au fonctionnement des cellules ou organes visés |
| Renseigne sur la forme, la taille de l'organe | Renseigne sur le fonctionnement de l'organe visé.   |

*D'après Physique-Chimie Enseignement de Spécialité, Terminale Nathan, 2020, Transformations nucléaires p. 117*

#### Document n° 2 - Techniques d'imagerie en médecine nucléaire

Le principe des techniques d'imagerie est d'administrer par voie intraveineuse un traceur radioactif au patient, puis de détecter le rayonnement émis.

L'élément radioactif utilisé dépend de l'organe à explorer. Il peut être employé soit seul, soit fixé sur une molécule (souvent du glucose). Sa localisation dans l'organisme se fait à l'aide d'un détecteur appelé gamma-caméra.

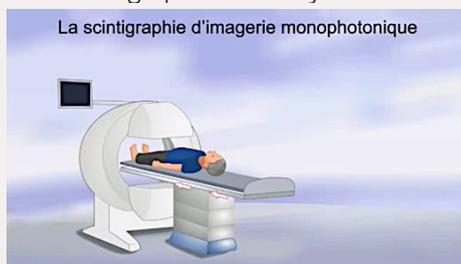
Couplé à un système d'acquisition et d'analyse informatique, la gamma-caméra donne des images numériques en 3D qui renseignent sur le fonctionnement des organes visés.

Le temps de demi-vie du radioélément doit être suffisamment long pour permettre le suivi du processus biologique étudié lors de l'examen, mais assez court pour éviter une irradiation inutile. En effet, ces rayonnements radioactifs sont ionisants, donc potentiellement dangereux.

*D'après Physique-Chimie T<sup>e</sup> Spécialité, Bordas, 2020, Transformations nucléaires p. 117*

### Document n° 3 - Les éléments radioactifs de la scintigraphie

Lors d'une scintigraphie, différents éléments radioactifs sont utilisés, par exemple le technétium 99 pour la scintigraphie osseuse, le thallium 201 pour la scintigraphie du myocarde, ou l'iode 123 pour la scintigraphie de la thyroïde.

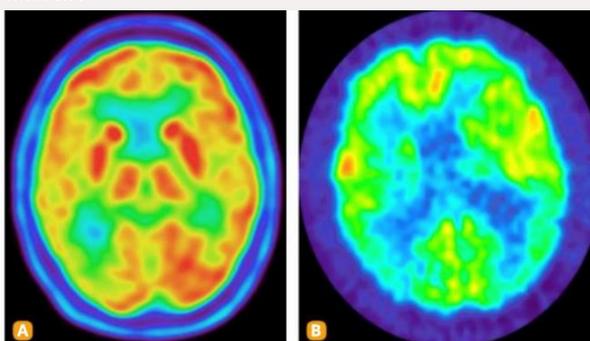


Source : <https://www.cea.fr/multimedia/Pages/videos/culture-scientifique/sante-sciences-du-vivant/scintigraphie.aspx>

### Document n° 4 - La tomographie par émission de positons (TEP)

Le fluor 18 est actuellement l'émetteur de positons (particules  $\beta$ ) le plus utilisé. Lorsque les positons entrent en collision avec des électrons, ils donnent naissance à des photons gamma. Afin d'améliorer la détection d'anomalies, la gamma-caméra peut être couplée à un scanner, on obtient alors un PET-Scan. Cette technique permet la localisation de tumeurs à un stade très précoce, inaccessible aux autres techniques d'imagerie.

PET-Scan de cerveau humain :



A : sujet sain

B : sujet atteint de la maladie d'Alzheimer

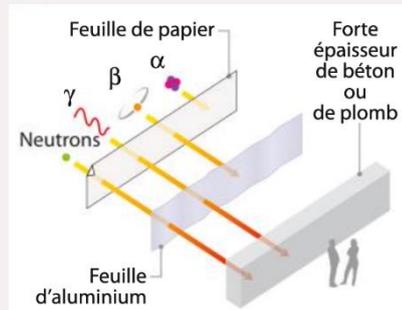
D'après Physique-Chimie T<sup>e</sup> Spécialité, Bordas, 2020, Transformations nucléaires p. 117

### Document n° 5 - L'exposition aux rayonnements ionisants

Les émissions de particules  $\alpha$ ,  $\beta$ , les rayonnements gamma et X sont capables d'ioniser les tissus humains et d'avoir des effets nocifs sur la santé. L'exposition aux rayonnements ionisants se mesure en Sievert, une unité qui permet d'évaluer l'impact des rayonnements sur les êtres humains. Le Sievert tient compte de la quantité d'énergie reçue par seconde et du type de rayonnement. Un travailleur ne peut être exposé à plus de 20 mSv par an, alors que la dose moyenne d'origine naturelle est de 2 mSv.

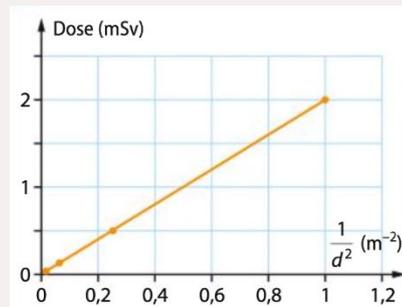
L'exposition naturelle peut être estimée sur le site <https://expop.irsn.fr/>

## Document n° 6 - Absorption des rayonnements par différents écrans



D'après Physique-Chimie T<sup>re</sup> Enseignement de Spécialité, Belin Éducation, 2020, Évolution temporelle d'une transformation nucléaire p. 139

## Document n° 7 - Évolution de l'exposition en fonction du carré de la distance à la source



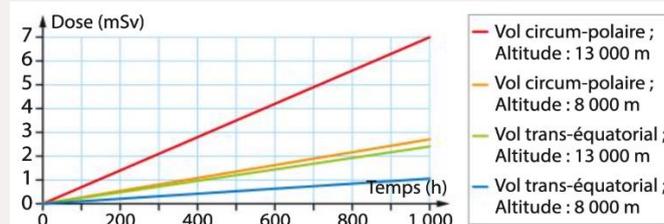
D'après Physique-Chimie T<sup>re</sup> Enseignement de Spécialité, Belin Éducation, 2020, Évolution temporelle d'une transformation nucléaire p. 139

## Document n° 8 - Épaisseur d'un écran diminuant l'exposition de moitié

| Source | Épaisseur en mm |       |       |       |
|--------|-----------------|-------|-------|-------|
|        | Type            | Béton | Acier | Plomb |
| Co 60  | β <sup>-</sup>  | 66    | 22    | 13    |
| I 131  | β <sup>-</sup>  | 49    | 15    | 6,5   |
| Tc 99m | γ               | 20    | 4,5   | 0,3   |

D'après Physique-Chimie T<sup>re</sup> Enseignement de Spécialité, Belin Éducation, 2020, Évolution temporelle d'une transformation nucléaire p. 139

## Document n° 9 - Évolution de l'exposition en fonction de la durée d'exposition



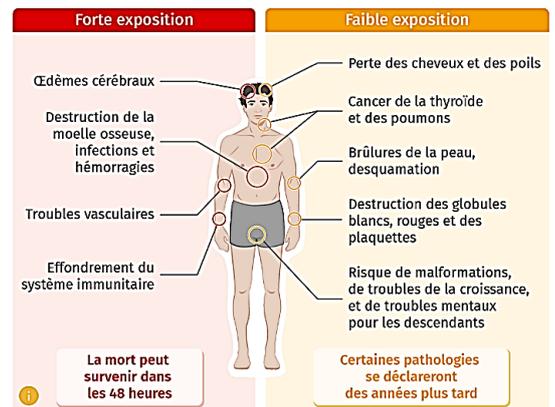
D'après Physique-Chimie T<sup>re</sup> Enseignement de Spécialité, Belin Éducation, 2020, Évolution temporelle d'une transformation nucléaire p. 139

## Document n° 10 - Exposition à la radioactivité

L'exposition à la radioactivité naturellement présente dans l'air et dans l'alimentation est quasi permanente. Elle peut varier en fonction de la zone géographique.

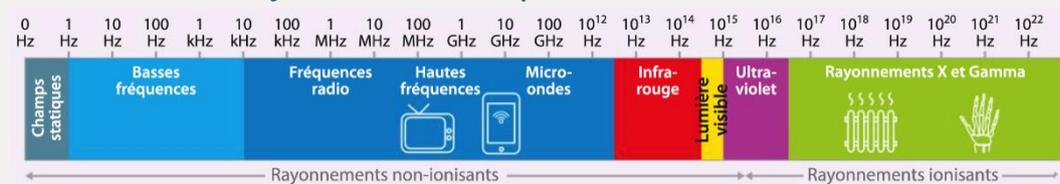
Une exposition ponctuelle est également possible lors d'exams médicaux ou de voyages en transports aériens, par exemple, avec des doses radioactives parfois importantes.

Ces différentes expositions peuvent entraîner des problèmes de santé à plus ou moins long terme.



D'après Spécialité Physique-Chimie T<sup>re</sup>, [lelivrescolaire.fr](http://lelivrescolaire.fr), 2020, Évolution temporelle d'une transformation nucléaire p. 109

## Document n° 11 - Rayonnements et fréquences



D'après Physique-Chimie T<sup>re</sup> Enseignement de Spécialité, Belin Éducation, 2020, Évolution temporelle d'une transformation nucléaire p. 139

## Questions

1. Préciser ce qui distingue une imagerie fonctionnelle d'une imagerie anatomique. Citer des exemples de ces deux types d'imagerie.
2. Indiquer la différence présentée par les techniques des documents 3 et 4 au niveau des émetteurs radioactifs.
3. Lister les avantages de la scintigraphie et de la tomographie par émission de positons par rapport aux autres techniques d'imagerie médicale
4. Nommer la grandeur qui détermine le caractère ionisant d'un rayonnement X ou gamma.
5. Citer 3 moyens de réduire l'exposition à un rayonnement ionisant.
6. Indiquer la relation entre l'exposition au rayonnement et la durée d'exposition. Calculer la durée qu'il faudrait passer dans un avion pour dépasser la dose annuelle naturelle moyenne pour un vol circumpolaire à l'altitude de 13000 m.

Montrer que pour une même source de rayonnement ionisant, les doses reçues  $D_1$  et  $D_2$  à des distances respectives  $d_1$  et  $d_2$  sont liées par la relation :

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$

En déduire la diminution de l'exposition au rayonnement ionisant quand la distance double.

7. Déterminer les paramètres à prendre en compte pour choisir un écran de protection, puis justifier les mesures de protection prise par le manipulateur radio qui, lors de l'exposition, se place derrière un écran de verre plombé situé à distance du patient.

**Votre synthèse à l'oral devra présenter :**

- le principe de la technique d'imagerie en médecine nucléaire ;
- quelques exemples d'application de la radioactivité dans le domaine médical ;
- des méthodes de protection contre les rayonnements ionisants et au moins deux facteurs d'influence de ces protections ;
- un exercice bilan que vous proposerez à vos camarades.

**Organisation de la présentation**

- Durée totale : 10-15 min.
- Chaque membre du groupe devra présenter une partie de cette synthèse.

Vous pourrez créer et vous appuyer sur un support numérique si vous le souhaitez.